

# СЕЗОННАЯ И МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ МОРСКИХ ЛЬДОВ АНТАРКТИКИ

**В.Н. Еремеев, А.А. Букатов\***

Океанологический центр НАН Украины  
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2  
*E-mail: director@ibss.iuf.net*

\*Морской гидрофизический институт  
НАН Украины  
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2  
*E-mail: ocean@alpha.mhi.iuf.net*

*На основе массива данных BADC HadISST ICE за период 1969 – 2002 гг. исследованы сезонная и межгодовая изменчивость сплоченности морских льдов Антарктики на масштабах нескольких десятилетий. Оценены корреляционные связи между сплоченностью морских льдов и индексами атмосферной циркуляции ЮК (Южное колебание) и ААК (Антарктическое колебание).*

**Введение.** Морской лед является одним из элементов климатической системы, влияющим на процессы взаимодействия океана и атмосферы. Понимание климатических связей между различными параметрами природной среды и ледовыми условиями на долговременных масштабах является принципиально важным для понимания механизмов формирования климата Земли и реакции экосистемы на глобальные изменения климата в разных регионах.

За последние десятилетия накоплен обширный объем знаний о реакции разных составляющих системы океан-атмосфера на изменчивость ледовых условий на временных масштабах 2 – 7 лет (события Эль-Ниньо) [1, 2, 3]. Еще в начале 20-го столетия Walker [4] предположил, что существует связь между Эль-Ниньо и процессами, происходящими в южных широтах. Neap [5], Gloersen [6], Джиганшин [7] показали, что в изменении площади и границы морских льдов Антарктики наблюдается периодичность в 2 – 4 года, близкая к периодам Эль-Ниньо.

Обычно возникновение событий Эль-Ниньо связывают с экстремальными значениями индекса атмосферной циркуляции ЮК. Chiu [8] по данным за 1973 – 1980 гг. обнаружил, что в Антарктике существует связь между значениями индекса ЮК в мар-

те–апреле и площадью льда в июле–декабре. Связь между изменчивостью межгодовых аномалий площади ледяных полей Антарктики и Эль-Ниньо установлена также в [9]. Авторы показали, что сигнал в изменении аномалий площади льда, связанный с Эль-Ниньо, распространяется на восток. Carleton по данным за 1929–1962 гг. обнаружил, что в период события Эль-Ниньо в море Уэдделла с декабря по январь наблюдается более низкая сплоченность льдов [10].

Naq et al. [11] показали, что Эль-Ниньо проявляется в поведении морских льдов в море Росса, при этом они предположили, что первоначально на лед в море Росса влияет западная часть тропиков Тихого океана и затем – восточная. Мощное влияние Эль-Ниньо на морской лед с периодом около 5-ти лет было обнаружено Xie et al. в морях Росса и Уэдделла по данным за 1973 – 1989 гг. [12]. Авторы отметили также, что существует обратная связь морского льда с аномалиями температуры на поверхности в тропиках Тихого океана.

Анализируя сплоченность морских льдов за период с 1973 по 1992 гг. Simmonds, Jacka, оценили ее связь с ЮК для четырех районов Антарктики: юго-западная часть Индийского океана, юго-западная и юго-восточная части Тихого океана и сектор к западу от моря Росса. Наиболее тесная связь между поведением льдов и ЮК была выявлена для юго-восточной части Индийского океана и Австралийского сектора к западу от моря Росса. Показано, что морской лед в этих районах реагирует на изменения индекса ЮК с запаздыванием почти на год [13].

Yuan, Martinson [14] нашли высокую корреляцию между Эль-Ниньо и аномалиями границы льдов в морях Амундсена, Беллинсгаузена и Уэдделла. Самые высокие корреляции, запаздывающие от Эль-Ниньо на 6 месяцев, проявляются в изменениях положения границы морских льдов между морями Амундсена и Росса.

Обобщая спутниковые данные за 30 лет Cavalieri, Parkinson [15] показали, что наблюдается значительная межгодовая изменчивость площадей морских льдов Антарктики. С 1968 г. по 1973 г. происходило увеличение площади льдов. Особенно большая положительная аномалия зафиксирована в 1973 году. Затем в период 1973 – 1977 гг. отмечалось

уменьшение количества льда, а с 1977 г. по 2002 г. площади льдов снова увеличивались.

Представленный обзор отражает сложную природу связей между антарктическим морским льдом и Эль-Ниньо. Большинство исследований пространственно-временной изменчивости морских льдов Антарктики базируются на данных за относительно короткий временной интервал. При этом анализируется изменчивость либо общей сплоченности льдов, либо их границы. Изменчивость распределения сплоченности льдов различной балльности по Антарктическому региону на климатических масштабах изучена недостаточно.

В настоящее время по данным спутниковых и контактных судовых измерений создана наиболее обеспеченная база данных о сплоченности льдов Мирового океана [16, 17]. Некоторые результаты исследований климатической изменчивости морских льдов Антарктики, полученные на основе этой базы, приведены в [18, 19].

Цель настоящей работы – исследовать сезонную и межгодовую изменчивость сплоченности морских льдов Антарктики на масштабах нескольких десятилетий. Оценить корреляционные связи между сплоченностью льдов Антарктики и индексами атмосферной циркуляции ЮК и ААК.

**Материалы и методика.** В работе использованы данные British Atmospheric Data Centre (BADC) HadISST ICE [16] о сплоченности морского льда в процентах (балльности) в одноградусной сетке с 1969 по 2002 гг. В тексте и на рисунках знак процента опущен. Для каждого узла регулярной сетки рассчитывались сезонные ( $СКО_{Сез}$ ) и межгодовые ( $СКО_{Меж}$ ) среднеквадратические отклонения. Для оценок связи среднегодовых вариаций сплоченности морских льдов с индексами атмосферной циркуляции ЮК и ААК рассчитаны взаимокорреляционные функции с 95%-ной статистической значимостью.

**Анализ результатов.** Проведенные на основе современного массива данных [16] расчеты в целом подтвердили существующие представления о сложной пространственно-временной структуре поля льда вокруг Антарктиды.

Сезонная изменчивость сплоченности льдов ярко выражена в морях Уэдделла, Лазарева, на северных границах морей Росса,

Амундсена и Беллинсгаузена (рисунок 1). Максимальная ее изменчивость (44) отмечается в морях Уэдделла и Лазарева, где наблюдается интенсивная сезонная динамика вод. Надо отметить так же, что области наибольшей сезонной изменчивости сплоченности льдов вытянуты в восточном направлении в сторону движения вод Антарктического циркумполярного течения (АЦТ).

Распределение уровня межгодового сигнала в изменчивости сплоченности морских льдов показывает, что он имеет пространственно неоднородный характер, обусловленный разными орографическими условиями и степенью удаленности от источников генерации этого сигнала, главный из которых находится в тропической зоне Тихого океана.

Наибольшей межгодовой изменчивости подвержены льды в морях Уэдделла, Амундсена, Беллинсгаузена и в районе между  $130^{\circ}$ з.д. и  $150^{\circ}$ з.д. Величины  $СКО_{Меж}$  здесь почти на порядок выше (18), чем в других регионах (рисунок 2). Зона интенсивных межгодовых вариаций сплоченности льдов располагается к югу от основной струи АЦТ, которая является естественной границей распространения морских льдов.

Пространственная структура корреляционных связей между сплоченностью морских льдов и индексами ЮК и ААК имеет более сложный характер, чем распределения  $СКО_{Сез}$  и  $СКО_{Меж}$ . Отмечается тенденция к вытягиванию областей экстремальных значений коэффициентов корреляции ( $R_{ЮК}, R_{AAK}$ ) в меридиональном направлении.

Максимальная прямая корреляционная связь между сплоченностью льда и индексом ЮК ( $R_{ЮК} \sim 0.6$ ) отмечается в области, где наблюдается наибольшая межгодовая изменчивость распределения льдов ( $130^{\circ} - 150^{\circ}$ з.д.,  $60^{\circ} - 65^{\circ}$ ю.ш.). Здесь влияние ЮК на сплоченность проявляется практически квазисинхронно.

Область значимой положительной корреляции ( $R_{ЮК} \sim 0.5$ ) наблюдается к западу от Антарктического полуострова. Реакция льда на ЮК запаздывает примерно на 4 года. Значимые положительные связи отмечаются также в море Содружества ( $R_{ЮК} \sim 0.3$ ). Временной отклик морского льда здесь преимущественно запаздывает от ЮК на 2 – 4 года.

Обратная корреляционная связь ( $R_{ЮК} \sim -0.6$ ) отмечается в море Уэдделла. Влияние

ЮК на ледяной покров отмечается с задержкой около 2 лет. Отрицательная корреляционная связь ( $R_{\text{ЮК}} \sim -0.5$ ) наблюдается и в море Дейвиса. Здесь реакция морского льда преимущественно запаздывает от ЮК на 2–4 года (рисунок 3).

Значимые корреляционные связи получены между сплоченностью льдов и индексом ААК. В море Уэдделла наблюдаются положительные значения  $R_{\text{AAK}}$  от 0.2 до 0.4 на сдвиге около 2 лет. В районе между  $130^\circ - 150^\circ$  з.д. и  $60^\circ - 65^\circ$  ю.ш. наблюдаются такие же значения  $R_{\text{AAK}}$  с временным откликом сплоченности льда 1 год (рисунок 4).

Обратная связь между льдом и ААК выявлена вокруг Антарктического полуострова. К западу от полуострова значения  $R_{\text{AAK}} \sim -0.6$ , при отсутствии временного сдвига, к востоку –  $R_{\text{AAK}} \sim -0.4$ , а временной сдвиг составляет 2 года.

**Заключение.** Проведенный анализ пространственно-временной изменчивости сплоченности морских льдов Антарктики заperi-

од с 1969 по 2002 гг. на основе массива BADC HadISST ICE показал, что морские льды подвержены наибольшей сезонной и межгодовой изменчивости в море Уэдделла и в районе между  $130^\circ - 150^\circ$  з.д. и  $63^\circ - 70^\circ$  ю.ш.

Установлены значимые корреляционные связи между сплоченностью морских льдов Антарктики и индексами атмосферной циркуляции ЮК и ААК. Наибольшие положительные корреляционные связи между сплоченностью морских льдов и индексом ЮК ( $R_{\text{ЮК}} \sim 0.6$ ) отмечаются в районе между  $130^\circ - 150^\circ$  з.д. и  $63^\circ - 70^\circ$  ю.ш., а максимальная обратная связь ( $R_{\text{ЮК}} \sim -0.6$ ) наблюдается в море Уэдделла. Наиболее тесная обратная корреляционная связь ( $R_{\text{AAK}} \sim -0.6$ ) между сплоченностью морских льдов и индексом ААК отмечается к западу от Антарктического полуострова.

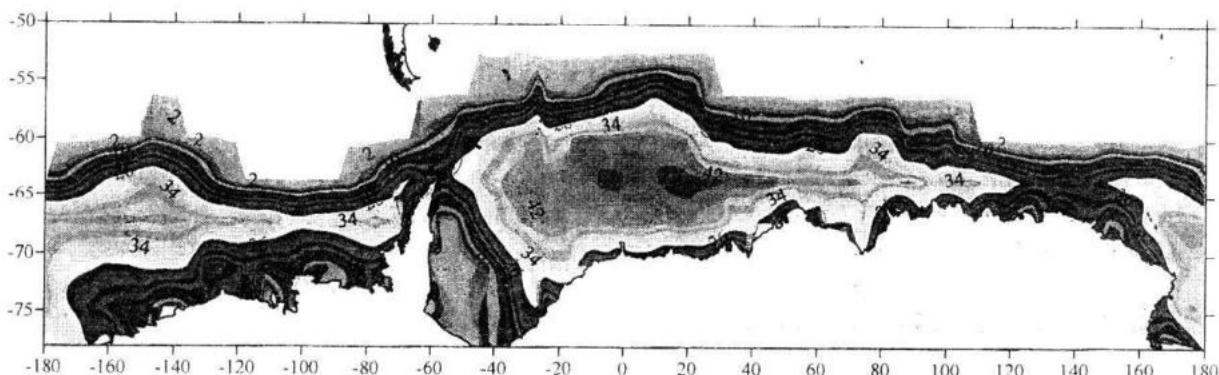


Рисунок 1 – Распределение СКОсез. морских льдов Антарктики

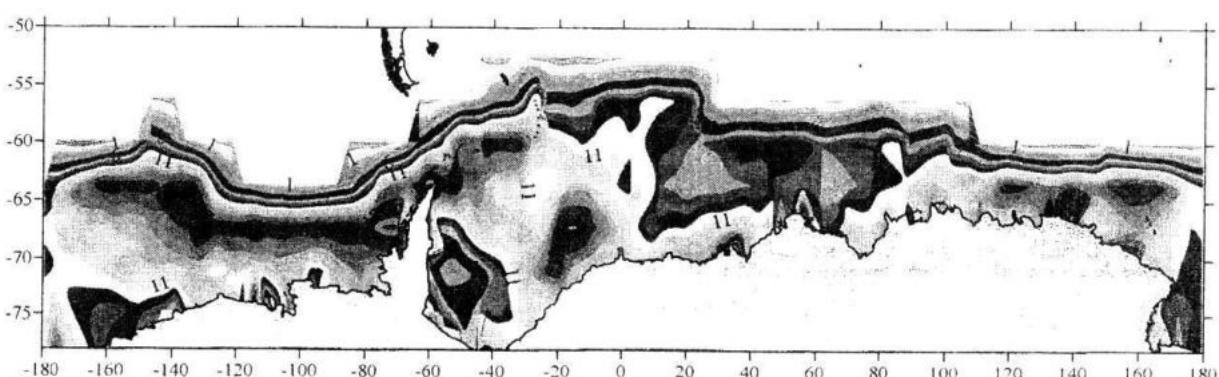


Рисунок 2 – Распределение СКОмеж. морских льдов Антарктики

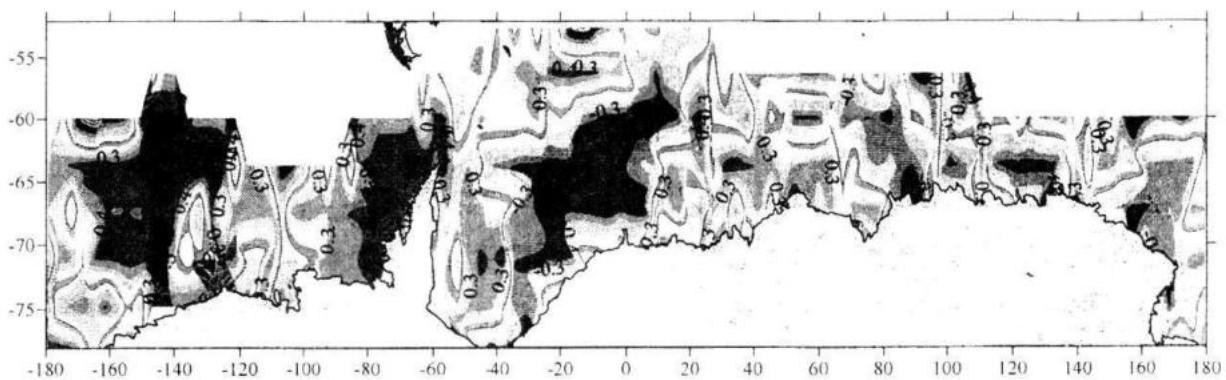


Рисунок 3 – Распределение коэффициентов корреляции между среднегодовыми значениями балльности морских льдов и индексом ЮК

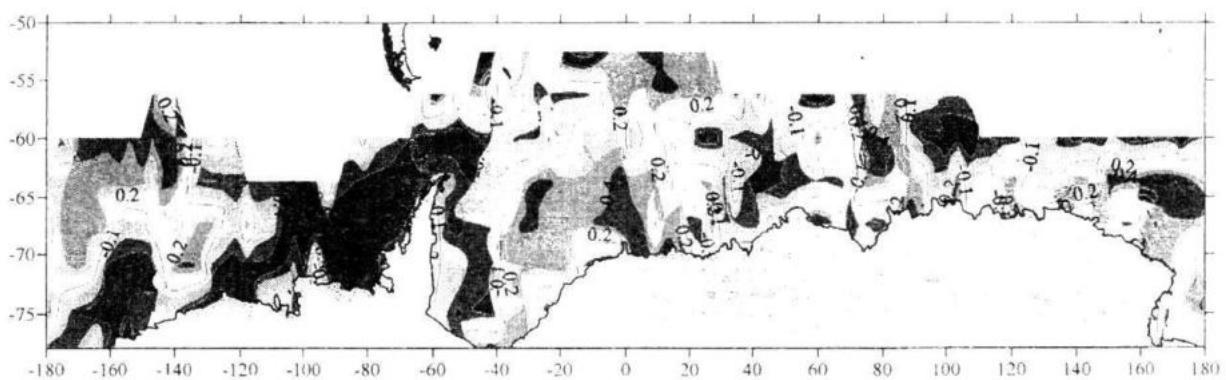


Рисунок 4 – Распределение коэффициентов корреляции между среднегодовыми значениями балльности морских льдов и индексом ААК

## Л и т е р а т у р а

1. C. Frankignoul, F. Bonjean, G. Reverdin Interannual variability of surface currents in the tropical Pacific during 1987–1993 // J. of Geoph. Research, 1996. – Vol. 101. – № C2. – P. 3629–3647.
2. J. Turner Review the El Niño – Southern Oscillation and Antarctica // Int. J. Climatology, 2004. – № 24. – P. 1–31.
3. Н.А. Вязилова, Д.Ю. Гущина Об особенностях развития аномалий метеорологических величин в тропиках Индийского и Тихого океанов в отдельные годы с Эль-Ниньо // Метеорология и гидрология, 2006. – № 10. – С. 24–35.
4. G.T. Walker Correlation in seasonal variations of weather VIII. Memorandum of the Indian Meteorological Department. Indian Meteorological Department, 1923. – P. 75–131.
5. J.A. Heap Antarctic pack ice. In Antarctica, Hatherton T (ed.), 1965. – Praeger. – P. 187–196.
6. P. Gloersen Modulation of hemispheric sea-ice cover by ENSO events // Nature, 1995. – 373. – P. 503–506.
7. Г.Ф. Джиганшин Сезонные и межгодовые вариации границы дрейфующих льдов в Атлантическом секторе Антарктики и проливе Дрейка // Морской гидрофизический журнал, 2003. – № 3. – С. 68–80.
8. L.S. Chiu Variation of Antarctic sea ice: an update // Monthly Weather Review, 1983. – 111. – P. 578–580.
9. H.J. Zwally, C.L. Parkinson, J.C. Comiso Variability of Antarctic sea ice and carbon dioxide // Science, 1983. – 220. – P. 1005–1012.

10. A.M. Carleton Sea ice atmosphere signal of the southern oscillation in the Weddell Sea, Antarctica // J. of Climate, 1988. – I. – P. 379–388.
11. C.J. Hao, L. Zhang, H. Xue, S.M. Xie Antarctic sea ice and ENSO event // Acta Oceanolog. Sinica, 1990. – 12. – P. 549–561.
12. S.M. Xie, C. Bao, Z. Xue, L. Zhang, C.J. Hao Interaction between Antarctic sea ice and ENSO events // Proceedings of NIPR Symposium on Polar Meteorology and Glaciology, 1994. – P. 95–110.
13. I. Simmonds, T.H. Jacka Relationships between the interannual variability of Antarctic sea ice and the southern oscillation // J. of Climate, 1995. – 8. – P. 637–647.
14. X.J. Yuan, D.G. Martinson Antarctic sea ice extent variability and its global connectivity // J. of Climate, 2000. – 13. – P. 1697–1717.
15. D.J. Cavalieri, C.L. Parkinson 30-Year satellite record reveals contrasting Arctic and Antarctic // Geoph. Research Letters, 2003. – Vol. 30. – №18, 1970. – P. CRY 4 1–2.
16. <http://badc.nerc.ac.uk/data/hadisst/> (British Atmospheric Data Centre, HadISST ICE)
17. N.A Rayner, D.E. Parker, E.B. Horton, C.K. Folland, I.V. Alexander, D.P. Rowell, E.C. Kent, A. Kaplan Global analyses of sea surface temperature, sea ice and night marine air temperature since the late nineteenth century // J. of Geoph. Research, 2003. –Vol. 108. – № D14, 4407. – P. ACL 2 1–29.
18. Ю.Б. Артамонов, А.А. Букатов Межгодовая изменчивость ледовых условий Антарктики по данным BADC. // Сб. науч. тр.: Системы контроля окружающей среды. МГИ НАНУ. – Севастополь, 2006. – С.251–255.
19. Е.А. Скрипалева, А.А Букатов, А.Ю. Артамонов Межгодовая изменчивость ледовых условий в регионе Антарктического полуострова в связи с глобальными процессами в системе океан-атмосфера // Научная конференция “Моря высоких широт и морская криосфера”, г. Санкт-Петербург, АНИИ, 2007 г. Тезисы докладов. – С.74.